

프로젝트 중심의 토목공학 입문설계 교과목 사례 분석

정근채
충북대학교 토목공학부 교수

Case Study for a Project based Introductory Design Course in Civil Engineering

Jeong, Keun-chae
Professor, School of Civil Engineering, Chungbuk National University

ABSTRACT

Although more than 15 years have passed since the introductory design courses were opened due to the introduction of engineering education certification in the civil engineering field, these courses have been operated somewhat unsatisfactorily compared to their importance as an introductory course for engineering design. This is partially because the quality of classes is affected by the instructor's individual ability due to the fact that a standard training plan for these courses has not been established so far. Therefore, in this paper, we try to present a reference model for the introductory design course by introducing a class operation case established through continuous improvement process over the last 10 years at Chungbuk National University. This case aims to cultivate students' problem solving and system design skills by carrying out projects to develop egg drop and wood bridge systems based on creative problem solving methodologies. As a result of a questionnaire survey conducted after the class, we found that students' problem solving and system design capabilities were improved significantly and there was a meaningful increase in level of interest and attention in civil engineering by taking this class.

Keywords: Introductory design, Creativity, Problem solving, Egg drop, Wood bridge, Simulation

1. 서 론

2,000년대 들어 국내에 공학교육인증 제도가 처음 도입되어 운영된 지도 어언 20여 년의 세월이 흘렀다. 이 제도의 도입을 통해 공학 분야의 교육과정에 많은 변화가 있었지만, 그중에서도 가장 큰 변화를 들라고 하면 바로 입문설계, 요소설계, 종합설계로 이어지는 설계 교과목의 도입이라 말할 수 있을 것이다. 요소설계나 종합설계에 대해서는 공학 분야의 학문적 다양성으로 인해 분야별로 개별적인 교과목을 개발하여 운영하고 있지만, 상대적으로 공통성이 많은 입문설계에 대해서는 표준 교육과정을 개발하여 운영하고자 하는 시도가 꾸준히 진행되어 왔다.

이러한 시도의 일환으로 고석준(2007)은 국내외 공학 입문설계 교과목에 대한 조사분석을 통해 팀 프로젝트의 중요성과 합리적 평가체계의 필요성 등을 고려한 교과목 운영방안을 제안하였다. 또한, 윤린(2016)은 국내외 공학교육 입문설

계에 대한 현황 조사를 바탕으로 팀 프로젝트 수행에 있어 설계의 이론적인 측면의 강화, 성적 평가 방법 개선, 공학윤리 및 특허교육 강화 등을 포함한 입문설계 개선방안을 제안하였다.

개별적인 공학 분야에서도 이러한 연구는 계속되었는데, 권성규(2019)는 기계공학 분야에 대해, 개념설계에 치중한 기초설계 과목을 개발함에 있어서 고려해야 할 사항들을 정리하고, 이에 따른 교육과정을 수립하여 제안하였다. 최덕기 외(2006) 역시 기계공학 분야에서, 창의적 사고 능력과 의사소통 기술 배양을 근간으로 체계적인 공학 설계 교육을 위한 입문 과정으로 개발된 교과목을 제안하였다. 이재민(2015)은 전자공학 분야의 창의설계 교육을 위한 설계중심의 교과과정 및 이를 수행하기 위한 종합설계실 구축 방안을 제시하였고, 도남철(2018)은 산업공학 분야에서 시제품 개발을 위해 3D 프린팅을 적용하여 제품을 제작하는 PDM(Product Data Management) 소프트웨어 기반 제품개발 교육과정을 제안하였다. 장용철 외(2013)는 환경공학 분야에서 PBL(Problem-Based Learning) 기반 창의설계입문 교과목에 대해, 새로운 학습법 도입에 따른 학생들의 변화를 학습성과, 강의평가 만족도, 피드백 및 강의

Received February 16, 2021; Accepted March 17, 2021

† Corresponding Author: kejeong@cbnu.ac.kr

©2021 Korean Society for Engineering Education. All rights reserved.

개선 방향 등의 측면에서 분석하여 제시하였다.

이러한 흐름 속에 토목공학 분야에서도 다양한 형태로 입문 설계 교과목이 운영되어 오고 있다. 그러나 본 과목의 설계에 대한 입문 과정으로서의 중요성에도 불구하고, 단지 공학교육 인증 제도의 요건을 충족하는 데 필요한 교과목으로만 치부되어 다소 형식적인 차원에서 운영되고 있는 형편이다. 물론 이러한 현상은 입문설계의 중요성에 대한 인식 부족에서 주로 기인하겠지만, 다른 한편으로는 아직까지도 본 교과목에 대한 표준 교육과정이 확립되지 않아 강의 담당자의 개인적 역량에 따라 수업의 품질이 결정되고 있기 때문일 것이다. 이에 토목공학 분야에서도 입문설계에 대한 표준 교육과정을 제안하고자 하는 연구들이 꾸준히 진행되어 왔다.

김이병·이범식(2005)은 창의적 설계 주제 연구를 통한 팀 워크기술 배양, 문제해결 능력 향상, 의사소통 기술 증진이라는 교육목표를 바탕으로 입문설계 교과목을 개발하였다. 그러나, 이 논문에서 제시한 6개의 입문설계 프로젝트 주제는 설계라기보다는 전통적인 실험의 성격이 더 강했다. 김진하 외(2006)는 토목구조물의 설계-시공-감리를 통합하여 수주하는 턴키(Turn-Key) 제도를 모사하는 문제중심 학습 및 협동 학습을 바탕으로 도시 비점원 처리시설을 설계하는 입문설계 교과목을 제시하였다. 그러나, 이 연구에서 제시된 프로젝트 주제는 입문설계보다는 수공학 분야의 요소설계에 더 적합한 주제라는 한계점을 갖는다. 박지호 외(2012)는 프로젝트 중심의 교과목 운영을 통해 시멘트 배와 이쑤시개 교량 등의 프로젝트를 개발하고 운영한 내용 및 결과를 정리하였다. 그러나, 이들 프로젝트는 창의적 아이디어 창출 과정에 방점이 찍혀있어 상대적으로 설계 관련 학습 요소가 부족하다는 단점을 갖는다.

이에 본 논문에서는 충북대학교 토목공학부에서 지난 10년 이상 동안 지속적인 진화 과정을 거쳐 정립된 입문설계 교과목 운영사례를 소개함으로써, 향후 보다 품질 높은 입문설계 교과목 운영을 위한 참조 모형을 제시하고자 한다. 본 교과목에서는 창의적 문제해결과정의 적용이 가능하도록 실험의 성격보다는 설계의 성격이 강하고, 저학년을 대상으로 진행되는 입문설계의 성격에 부합하도록 누구나 쉽게 접근할 수 있는 주제의 프로젝트를 중심으로 수업을 진행한다. 또한, 단순 아이디어 도출을 통한 시스템 제작의 한계를 뛰어넘기 위해, 3D 모델링 기반 설계와 시뮬레이션 기반 성능 예측 주제를 포함하는 정보 기술 도구 기반 교육과정을 수립하여 활용한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 15주로 구성된 주별 수업 내용을 요약하여 입문설계 교육과정을 종합적으로 설명한다. 3장에서는 본 교과목의 수강생들이 수행하는 계란

낙하와 나무교량 시스템 프로젝트에 대해, 요구사항, 예비과제, 계획, 설계, 시뮬레이션, 성능평가를 중심으로 자세히 서술한다. 4장에서는 수강생들의 프로젝트 수행 성적 평가 방법을 설명하고, 프로젝트 중심의 수업 진행 방식에 따른 수강생들의 학습성과 변화 정도를 분석한다. 마지막으로 5장에서는 본 논문의 연구 내용을 요약하고 향후 연구 방향을 서술한다.

II. 수업 내용

1. 주별 강의 내용

본 수업은 Fig. 1에 요약되어있는 바와 같이, 총 15주에 걸쳐 창의성 개론 및 문제해결 방법론, 계란낙하 프로젝트, 나무교량 프로젝트 등 크게 3개의 소주제로 구분되어 강의가 진행된다. 첫째, 1주부터 4주까지는 문제정의, 아이디어 창출, 대안 수립, 대안선정에 이르는 창의성 개론 및 문제해결 방법론에 대한 이론적인 내용을 강의한다. 둘째, 5주부터 10주 차 전반까지는 계란낙하 시스템 프로젝트가 진행되며, 이는 팀 편성 및 과제 부여, 예비과제 수행, 과제계획, 시뮬레이션 및 설계, 제작 및 개발보고, 실험 및 결과보고 등의 단계를 거쳐 체계적으로 수행된다. 셋째, 10주 차 후반부터 15주까지는 나무교량 시스템 프로젝트가 진행된다. 이 프로젝트에서도 위에 언급한 계란낙하 시스템 프로젝트 수행을 위한 여섯 단계가 동일하게 수행된다.

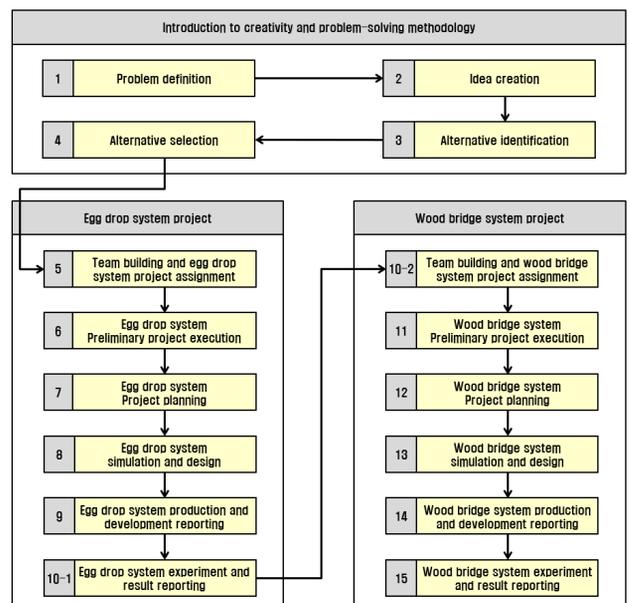


Fig. 1 Weekly lecture contents

2. 창의성 개론 및 문제해결 방법론

본 수업은 창의성 개론 및 문제해결 방법론에 대한 이론적인 교육으로 문을 연다(박강 외, 2012). 이 부분에서는 우선 창의성의 유래, 정의, 평가방법 등에 대한 수업을 진행한 후, 창의성에 의해 시대의 패러다임이 전환될 수 있음을 사례를 통해 학습한다. 또한, 스티븐버그의 성공지능 모형, 가드너의 다중지능 모형, 허만의 지능모형 등을 교육함으로써 누구나 창의적인 아이디어를 만들어 낼 수 있음을 교육한다. 이후 문제 상황에 대한 현재 상태와 개선 상태의 정의를 통해 문제를 정의하고 문제정의문을 작성하는 방법에 대해 교육한다. 이때, 문제정의에 도움이 되는 설문조사, 파레토도, 원인결과도, 벤치마킹 및 품질기능전개 등의 방법론을 함께 학습한다.

다음으로는 문제를 해결하기 위한 아이디어를 창출하기 위한 방법론을 교육한다. 이 부분에서는 우선 마인드맵, 플로우차트, 다이어그램, 그래프 등 시각화 기법에 대한 교육을 통해 문제를 입체적으로 분석하고 아이디어를 도출할 수 있는 방법론을 교육하고, CASH DEPOSIT과 같은 기억법을 이용하여 아이디어를 보다 풍부하게 도출할 수 있는 지식의 기반을 마련하기 위한 교육을 실시한다. 다음으로는 9가지 사고유발 질문으로 구성된 오스본의 스킴퍼(SCAMPER), 개선되어야 할 상품이나 서비스를 매트릭스 형태로 분석하기 위한 형태학적 분석법, 같은 또는 다른 사물로부터 새로운 아이디어를 도출하기 위한 유추와 은유 등의 기법을 교육한다. 이후 강의주제를 브레인스토밍으로 옮겨, 브레인스토밍의 유래, 목적 및 정의에 대해 학습하고, 품질보다는 양을 중시하며, 엉뚱한 그리고 편승 아이디어를 장려하며, 비판을 불허하는 브레인스토밍의 규칙에 대해 학습한다. 다음으로는 준비, 브리핑, 규칙복습, 과정설명, 워밍, 브레인스토밍, 마침, 해산, 보고로 이루어진 브레인스토밍 절차에 대해 교육한다. 이후, 점심 메뉴 정하기 등 간단한 예제를 통해 브레인스토밍의 전 과정을 체험하기 위한 실습이 이어진다.

아이디어 창출 과정 다음으로는 창출된 아이디어를 다듬어서 좀 더 구체적인 아이디어를 만들어내는 대안수립 과정을 교육한다. 이를 위해 양보다는 품질을 중시하며, 좀 더 실용적이고 종합적인 아이디어를 만들고, 비판적인 판단을 계속 유보하는 등의 아이디어 다듬기 원칙을 학습한다. 이후, 3단계로 구성된 아이디어 다듬기 절차를 교육한다. 1단계에서는, 아이디어를 분류하고 그룹화하여 몇 개의 범주를 만드는 아이디어 분류 및 그룹화, 2단계에서는, 범주 내에서 아이디어를 조합하여 각 범주를 대표하는 좀 더 실용적이고 구체적인 아이디어를 만드는 범주 내 아이디어 조합, 3단계에서는, 각 범주 간의 아이디어를 조합하여 문제의 모든 측면을 종합적으로 해결할 수 있는 대안을 찾는 범주 간 아이디어 조합을 수행한다. 또한, 아이디어

Table 1 Summary for Introduction to creativity and problem-solving methodology lecture

Week	Subject	Contents
1	Problem definition	<ul style="list-style-type: none"> • Creativity and paradigm shift • Defining current (as-is) and improvement (to-be) status • Problem definition tools
2	Idea creation	<ul style="list-style-type: none"> • Visualization and mnemonic system • Thinking triggering tools • Brainstorming
3	Alternative identification	<ul style="list-style-type: none"> • Idea refinement • Communication • Teamwork and overcoming mental hang-up
4	Alternative selection	<ul style="list-style-type: none"> • Critical thinking • Analytic Hierarchy Process • Idea execution procedure

다듬기 방법론에 덧붙여, 구두 및 문서를 통한 의사소통 방법, 창의적 사고를 방해하는 심적장애 극복 방안, 시너지 효과를 얻기 위한 팀워크에 대해서도 학습한다. 이 과정에서 허만의 지능모형을 기반으로 학생들의 사고성향을 조사하고, 팀프로젝트에서의 개인의 책임과 역할에 대해 함께 공유한다.

대안이 수립되고 난 이후에는, 후보 대안 중 가장 우수한 대안을 선정하기 위해 계층적분석법(AHP; Analytic Hierarchy Process)에 기반을 둔 대안선정 절차에 대해 교육한다. 이 과정은 1단계, 쌍대비교를 이용하여 대안 평가를 위한 기준의 우선순위 가중치를 결정하는 평가 기준 설정, 2단계, 쌍대비교를 이용하여 각 평가 기준별로 대안들을 평가하여 점수를 매긴 후 이를 종합하여 대안의 순위를 결정하는 대안 평가, 3단계, 선정된 대안에 대한 단점과 위험요소를 조사하여 수정·보완하는 대안 보완으로 구성된다. 이와 더불어 올바른 판단의 기초가 되는 비판적 사고의 개념과 아이디어를 실행에 옮기기 위한 과정으로 아이디어 의식화 계획 수립, 작업계획 수립과 실행, 실행 관찰과 결과 평가에 대해 교육한다. Table 1은 1주부터 4주까지 진행되는 창의성 개론 및 문제해결 방법론에 대한 이론 교육 과정을 요약하여 보여주고 있다.

3. 계란낙하 및 나무교량 시스템 프로젝트

계란낙하와 나무교량 시스템 프로젝트는 그 수행 내용에는 차이가 있지만, 수행 방식은 동일한 절차를 준용한다(Jeong, 2020). 첫째, 사고성향 조사 결과를 바탕으로 프로젝트 수행을 위한 팀을 편성하고, 시스템에 대한 요구사항을 제시한 후 전년도 보고서를 함께 검토한다. 둘째, 본 프로젝트의 수행과정을 사전에 체험할 수 있도록 맛보기 예비과제를 수행한다. 셋째, 요구사항 충족을 위해 아이디어 창출, 대안수립, 대안선정 절차를 수행

한 후 시스템에 대한 개념도를 작성하는 일련의 과정을 통해 과제계획서를 작성한다. 넷째, 과제계획서에서 작성된 개념도를 바탕으로, 시뮬레이터를 활용하여 모의실험을 수행하고, 모의실험 결과를 반영하여 설계를 수행하며, 시스템의 구성요소를 정의한다. 다섯째, 설계도와 구성요소를 바탕으로 서술된 제작방법을 기반으로 시스템을 제작한다. 마지막으로, 계란낙하 또는 하중재하 실험을 수행한 후, 성능평가 결과를 분석하여 보고하고, 향후 시스템 개선방향을 제시한다. Table 2는 5주부터 15주까지 진행되는 두 개의 프로젝트 수행과정을 요약하여 보여주고 있다. 계란낙하와 나무교량 시스템 프로젝트에 대한 구체적 내용은 다음 장에서 여섯 단계로 구분하여 자세하게 살펴본다.

Table 2 Summary for two system projects

Week		Subject	Contents
Egg drop	Wood bridge		
5	10-2	Team building and project assignment	<ul style="list-style-type: none"> • Composing project teams and a documentary team • Watching project documentaries of the previous year • Presenting system requirements • Reviewing project reports of the previous year
6	11	Preliminary project execution	<ul style="list-style-type: none"> • Designing a prototype using craft straws and tape • Making prototype systems • Dropping and loading experiments for the prototype systems • Analysis of prototype experiment results
7	12	Project planning	<ul style="list-style-type: none"> • Creating ideas to meet system requirements • Establishing and selecting alternatives through combination of the created ideas • Sketching conceptual diagrams using computer aided drawing tools & making physical models using wood chopsticks
8	13	Simulation and design	<ul style="list-style-type: none"> • Simulating the system using a spread sheet simulator and West Point Bridge Designer • Modifying and updating conceptual diagrams • Preparation of drawings • Defining components and calculating amounts of materials required
9	14	Production and development reporting	<ul style="list-style-type: none"> • Preparation of construction methods • Making main systems • Writing development reports
10-1	15	Experiment and result reporting	<ul style="list-style-type: none"> • Dropping and loading experiments for the main systems • Analysis of main experiment results • Writing experiment reports • Watching project documentaries of this year

III. 시스템 개발 프로젝트

1. 팀 편성 및 과제 부여

계란낙하와 나무교량 시스템 프로젝트는 공통으로 강좌당 8팀, 팀당 5명으로 구성하는 것을 원칙으로 한다. 이때, 허만의 지능모형을 바탕으로 만들어진 총 60문항의 사고성향조사 설문지를 이용하여, 학생들을 A(이성 우위), B(계획 우위), C(감성 우위), D(직관 우위), ABCD(다중 우위) 등 다섯 유형으로 구분한 후, 한 팀에 각 유형의 학생들이 고루 분포하도록 팀을 구성함으로써 시너지 효과를 극대화할 수 있도록 한다. 또한, 2명으로 구성된 다큐멘터리 제작팀을 선발하여, 프로젝트의 전체 진행 과정을 기록으로 남기기 위한 영상을 제작한다. 팀 편성 후에는, 전년도에 제작된 프로젝트 다큐멘터리를 시청하고 전년도에 제출된 보고서를 함께 검토함으로써, 향후 진행될 프로젝트 과정을 개략적으로 이해할 수 있도록 한다.

프로젝트에 대한 전반적인 이해를 마친 후, 학생들은 향후 제작해야 할 계란낙하와 나무교량 시스템에 대한 요구사항을 부여받는다. 두 시스템에 대한 요구사항은 각각 다음과 같다.

[계란낙하 시스템에 대한 요구사항]

- 지상 13m 높이에서 낙하시킬 때 계란이 깨져서는 안 된다.
- 외관이 보기 좋고 창의적이어야 한다.
- 낙하 장치는 가벼워야 한다.
- 낙하 시 정확한 위치에 착지해야 한다.
- 낙하 시간이 빨라야 한다.
- 낙하 장치에 계란을 쉽게 탈부착할 수 있어야 한다.
- 계란의 파괴 여부를 낙하 장치 외부에서 관찰할 수 있어야 한다.
- 3회 반복 실험을 마칠 수 있도록 충분한 내구성을 가져야 한다.
- 낙하 장치의 구조체(뼈대)를 구성하는 재료는 배부받은 8×8mm 각재(선밀도 0.1g/cm) 발사목만을 이용한다.

[나무교량 시스템에 대한 요구사항]

- 단일 경간 교량 형식으로 교량의 총 길이는 50cm이다.
- 교량의 시작과 끝부분의 상판 높이는 실험대 높이와 동일해야 한다.
- 교량의 폭은 10cm이며, 노면 위로 폭 8cm의 차량이 지나갈 수 있어야 한다.
- 교량 중심부에 폭 2cm, 높이 4cm의 하중 재하용 막대가 삽입될 수 있어야 한다.
- 교량 중앙부에 재하된 하중(최대 42kg)을 지지할 수 있어야 한다.
- 교량은 가벼워야 한다.

- 외관이 보기 좋고 창의적이어야 한다.
- 교량을 구성하는 주재료는 배부받은 8×8mm 각재, 2×100mm 판재(선밀도 0.31g/cm) 발사목만을 이용한다.
- 교량의 연결부위는 접착제와 무명실만을 이용한다.

2. 예비과제 수행

본 프로젝트의 진행 전, 향후 수행될 프로젝트의 전반적 과정에 대한 이해도를 높이기 위해 간단한 형태의 예비과제를 수행한다. 예비과제에서는 공작용 빨대(지름 5mm)를 이용하여 1시간 정도의 시간 동안 프로토타입 시스템을 제작한 후 낙하 및 재하 실험을 실시한다. 예비과제에 대략적인 내용은 다음과 같으며, Fig. 2는 나무교량 예비과제에서 사용하기 위해 자체적으로 개발·제작한 하중재하 실험장치를 보여주고 있다.

[계란낙하 프로토타입 시스템 예비실험]

- 준비물 : 빨대, 테이프, 자, 가위, 계란, 저울(0.01g 단위)
- 요구사항 : 빨대와 테이프를 이용하여, 2m 높이에서 3회 반복하여 떨어뜨려도 계란이 깨지지 않도록 보호할 수 있는 구조체를 최대한 가볍게 제작하시오. 단, 계란 표면에 테이프의 끈적이는 면은 닿지 않아야 한다.

[나무교량 프로토타입 시스템 예비실험]

- 준비물 : 빨대, 테이프, 자, 가위, 미니 실험대, 100g 분동, 저울(0.01g 단위)
- 요구사항 : 20cm 간격을 가지는 두 지점을 연결하고, 최대한 많은 분동(최대 9개)을 올려놓을 수 있는, 폭 5cm, 높이 3cm의 구조체를 최소한의 빨대와 테이프를 이용하여 제작하시오.

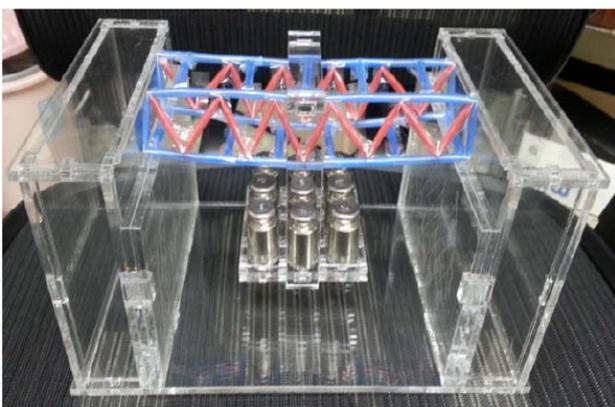


Fig. 2 Experiment kit for the prototype bridge system

3. 과제계획

과제계획 단계에서는 우선 구성원들의 역할을 분담하고 과제 수행을 위한 계획을 수립한다. 이후, 요구사항을 충족시킬 수 있는 다양한 아이디어를 도출하고, 이 아이디어들을 조합하여 설계 대안을 수립하고, 계층적분석법을 이용하여 최적 대안을 선정한다. 이후, 선정된 설계 대안에 대해 SketchUp 또는 AutoCAD 등과 같은 3차원 모델링 도구를 이용하여 개념도를 작성하고, 나무젓가락을 이용하여 간단한 형태의 물리적 모형을 제작한다. 최종적으로 이상의 내용을 바탕으로 과제계획서를 작성한다. Fig. 3은 계란낙하와 나무교량 과제계획서에 포함된 개념도 사례를 보여주고 있다.

[과제계획서 내용]

- 구성원 역할 분담 내역 및 시스템 개발 일정 계획
- 문제해결 과정을 통해 도출된 시스템 개발 개념
- 시스템 개념도
- 시스템 개념도를 기반으로 제작한 나무젓가락 모형

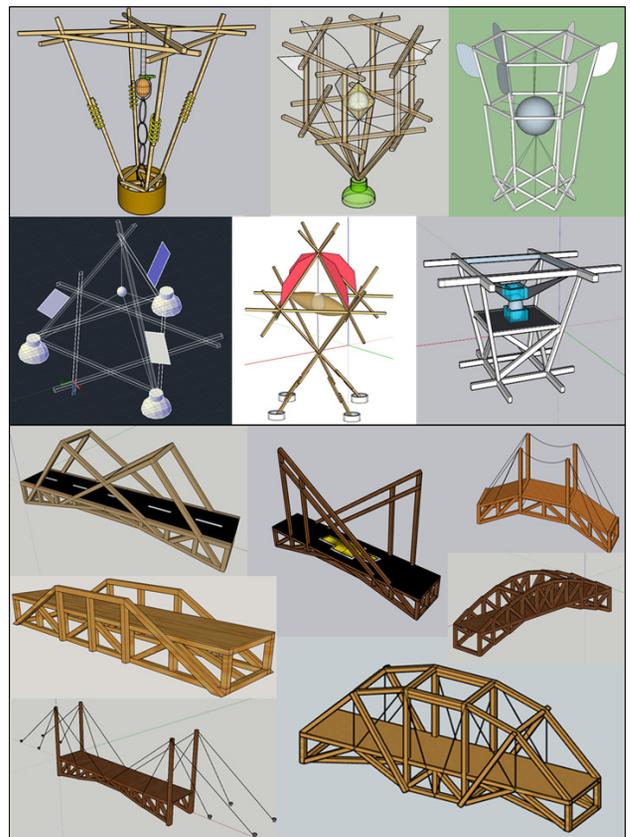


Fig. 3 Conceptual design for the egg drop and wood bridge systems using 3D modeling tools

4. 시뮬레이션 및 설계

시뮬레이션 및 설계 단계에서는 과제계획 단계에서 수립된 개념도를 바탕으로 시스템의 성능을 예측할 수 있는 시뮬레이션을 수행한다. 계란낙하 시스템에 대한 시뮬레이션을 위해서는 유체역학의 기본적인 개념을 활용한 Anvick(2001)의 스프레드시트 기반 시뮬레이션 도구를 수정·보완하여 활용한다. 이 시뮬레이터에서는 Fig. 4에 나타나 있는 바와 같이 낙하 높이, 계란과 계란낙하 시스템의 무게, 단면적, 충돌 시간 등의 정보를 입력받아, 계란 및 계란이 장착된 계란낙하 시스템의 낙하시 충돌 및 종단 속도를 계산하고, 이를 바탕으로 충격력을 계산한다. 최종적으로는, 계란을 그대로 낙하시키지 않고 계란낙하 시스템에 장착하여 낙하시킴으로써, 지면 충돌 시의 충격력을 얼마나 감소시킬 수 있는가를 산출한다.

나무교량 시스템에 대한 시뮬레이션을 위해서는 구조역학의 기본적인 개념을 기반으로 개발된 West Point Bridge Designer (2007)를 활용한다. 본래 이 시뮬레이터는 특정 하중 조건을 만족하는 가장 경제적인 교량 대안을 만들어내기 위한 설계 지원 프로그램으로 개발되었다. 이 시뮬레이터는 Fig. 5에 나타나 있는 바와 같이, 교량의 형식, 높이, 경간, 노드 및 아크의 배치,

Easy Units		MKS	
Drop Height, feet	42.66	13.00277	m
Air Density, kg/m ³ Typical is 1.229	1.229	1.229	kg/m ³
Gravitational Constant, m/sec ²	9.8	9.8	m/sec ²

Egg mass, g	60	0.06	kg
Egg Front Area, cm ²	12.56	0.001256	m ²
Egg Drag Coefficient	1	1	
Egg Impulse Time, sec	0.01	0.01	sec

Vehicle Mass, g Include Egg	100	0.1	kg
Vehicle Front Area, cm ²	200	0.02	m ²
Vehicle Drag Coefficient	1	1	
Vehicle Impulse Time, sec	0.09	0.09	sec

Egg Calculations No Vehicle	MKS	
Velocity at Impact No Drag	15.96	m/sec
Fall Time no Drag	1.63	sec
Terminal Velocity	27.60	m/sec
Lower of Terminal or Impact Velocity	15.96	m/sec
Impact Force	95.78	N

Vehicle Calculations	MKS	
Velocity at Impact No Drag	15.96	m/sec
Fall Time No Drag	1.63	sec
Terminal velocity	8.93	m/sec
Lower of Terminal or Impact Velocity	8.93	m/sec
Impact Force	9.92	N

Force Reduction, Percent	89.64	Percent
--------------------------	-------	---------

Fig. 4 Spread sheet based simulator for egg drop systems

자재의 종류 등의 정보를 입력받아 주어진 하중 조건이 재하되었을 때 각 부재에 미치는 압축력과 인장력을 계산하여 제공한다.

시뮬레이션 수행 결과(충격력 감소 비율, 인장력 및 압축력 분포)를 바탕으로 개념도를 수정·보완한 후, 개념도를 물리적으로 구현하여 시스템을 제작하기 위한 설계도를 작성한다. 설계도 작성은 개념도 작성과 별개로 수행되는 것이 아니라, 3D 모델링 도구를 통해 작성된 개념도에 치수 정보를 부여한 후, 3D 개체를 제3각법에 따라 평행투영함으로써 정면도, 평면도, 측면도를 자동으로 출력하는 방식으로 수행된다. Fig. 6은 계란낙하와 나무교량 설계보고서에 포함된 설계도 사례를 보여주고 있다. 설계도를 출력한 이후에는 설계도를 바탕으로 시스템을 제작하는 데 필요한 구성 부품들을 정의한다. 구성 부품의 정의는 부품의 가로, 세로, 높이 등의 치수 정보를 비롯하여,



Fig. 5 Graphical user interface based simulator for wood bridge systems

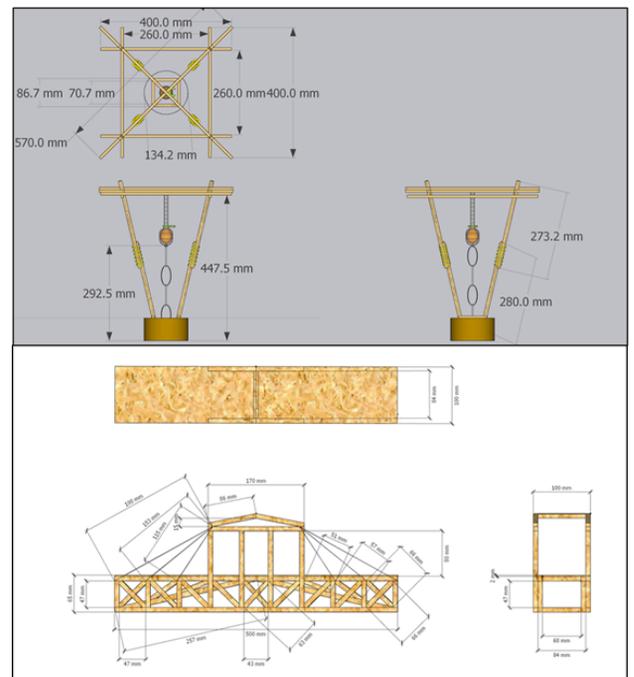


Fig. 6 Detail design for the egg drop and wood bridge systems using 3D modeling tools

시스템 내 사용 부위와 필요 수량, 제작 재료 소요 물량 등의 정보를 포함한다. 이후, 각 구성 부품의 재료 소요 물량에 단위 물량 당 중량을 곱하는 방식으로 구성 부품의 무게를 추정한다. 최종적으로는 모든 구성 부품에 대해 추정된 무게를 합산함으로써 시스템의 총 중량을 사전에 예측한다.

[설계보고서 내용]

- 수정·보완된 개념도
- 시스템 정면도, 평면도, 우측면도
- 시스템 구성 부품 정의
- 시스템 중량 및 단면적 추정
- 컴퓨터 시뮬레이션 수행 결과

5. 제작 및 개발 보고

설계도를 완성한 이후에는 시스템 제작방법을 개발한다. 제작방법의 개발은 시스템을 구성하는 부품을 조립하는 과정을 부품들의 결합 방법을 중심으로 단계적으로 정의함으로써 완성된다. 시스템 제작방법의 개발이 완료된 이후에는, 제작방법에 따라 실제 시스템을 제작하고, 사전 낙하 및 재하 실험을 수행함으로써 향후 수행될 시스템 성능 평가에 대비한다. Fig. 7은 계란낙하와 나무교량 개발보고서에 포함된 시스템 제작 사례를 보여주고 있다.



Fig. 7 Egg drop and wood bridge systems using Balsa wood

[개발보고서 내용]

- 프로젝트 수행 단계별 설계 변경 과정을 포함한 시스템 개발 과정
- 시스템 제작 방법
- 완성된 시스템 사진
- 사전 낙하 및 재하 실험 결과

6. 실험 및 결과 보고

시스템 제작이 완료되면, 계란낙하 시스템에 대해서는 계란 낙하 실험을, 나무교량 시스템에 대해서는 하중 재하 실험을 수행함으로써 개발된 시스템의 성능을 평가한다. 계란 낙하 실험은 계란을 장착하여 지상 13m 높이에서 3번 반복하여 시스템을

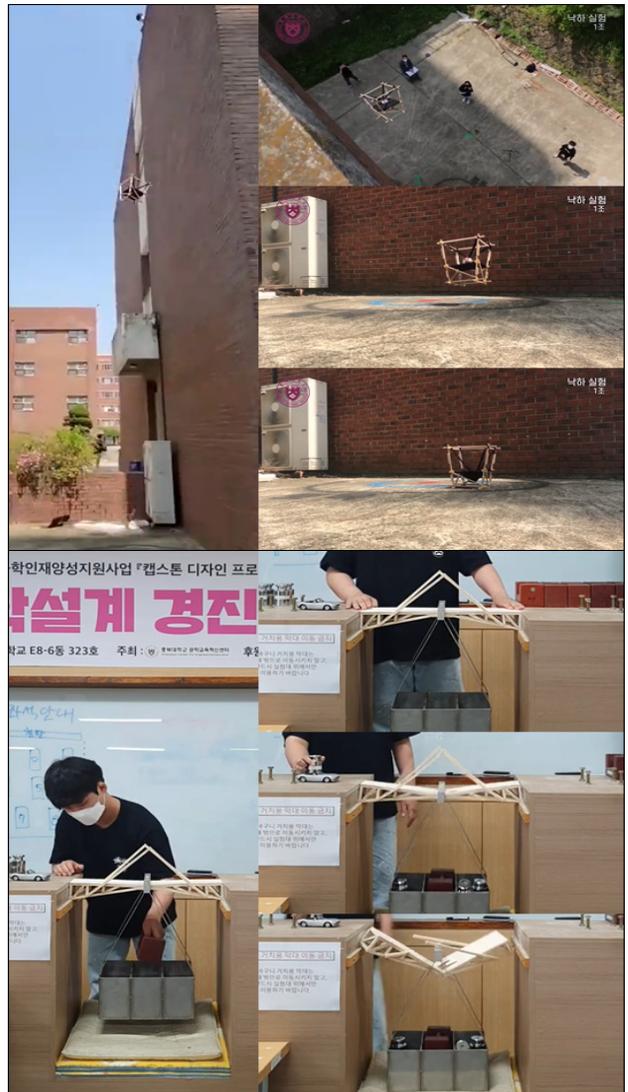


Fig. 8 Experiments for egg drop and wood bridge systems

낙하한 후, 계란 파괴 여부를 확인하고, 시스템 중량, 낙하 시간, 낙하 목표 지점에서 시스템 착지 위치까지의 거리 등을 측정한다. 하중 재하 실험은 시스템의 무게를 측정한 후 교량을 자체 개발한 실험대에 거치한 후 총 42kg의 추를 1kg 단위로 추가하면서 교량의 파괴 여부를 관찰한다. Fig. 8은 계란낙하와 나무교량 시스템에 대한 실험 과정 및 장치를 보여주고 있다.

실험을 마치고 난 이후에는, 각 팀의 실험 결과를 종합적으로 비교·평가하고, 시스템에 대한 장·단점을 도출한 후, 단점을 극복할 수 있는 개선방안을 도출한다. 각 팀은 이들 내용을 정리하여 마지막 보고서인 결과보고서를 작성하여 제출한다. 마지막으로 팀 편성 단계에서 선발된 다큐멘터리 팀이 제작한 10분 내외의 프로젝트 다큐멘터리 영상을 함께 시청하며 프로젝트를 마무리한다.

[결과보고서 내용]

- 조별 실험 결과에 대한 종합적 비교평가
- 조별 시스템 각각에 대한 장단점 분석
- 시스템 단점에 대한 보완 방향 수립
- 프로젝트 수행 후기 및 팀원 기여도 평가 결과

IV. 성적평가 및 학습성과 분석

1. 성적평가

이번 절에서는 시스템 개발 프로젝트의 성적을 어떤 방법으로 평가할 것인가에 대해 설명한다. 평가는 기본적으로 첫 번째, 개발된 시스템의 성능 자체에 대한 평가, 두 번째, 시스템의 개발과정에서 제출된 보고서에 대한 평가, 세 번째, 프로젝트에 참가한 팀원에 대한 기여도 평가로 나눌 수 있다. 첫 번째와 두 번째 평가는 팀 구성원이 모두 동일한 점수를 부여받지만, 세 번째 평가는 개인별로 상이한 점수를 부여받는다. 첫 번째, 총 100점 중 65점의 비중을 차지하는 시스템의 성능과 관련된 평가 항목은 다음과 같다.

[계란낙하 시스템 성능 평가 항목]

- 예비실험(5점) : 계란 파괴여부 점수 = 3회 실험 중 계란이 깨지면 0점, 깨지지 않으면 2.5점 부여, 시스템 중량 점수 = $2.5 \times (\text{최대 시스템 중량} - \text{시스템 중량}) / (\text{최대 시스템 중량} - \text{최소 시스템 중량})$
- 창의성(15점) : 탈부착이 용이한 계란 장착부를 갖추고, 구조체에 조향장치, 완충장치, 착지장치 등이 장착된 시스템으로 기존에 전혀 볼 수 없었던 기발하며 수려한 형태의 디자인은 15점, 기존 시스템과 차별성을 갖는 디자인은 12

점, 기존에 나왔던 아이디어를 발전적으로 조합한 디자인은 9점, 기존에 나왔던 아이디어를 단순 조합한 디자인은 6점, 기존 시스템을 그대로 답습한 디자인은 3점 부여

- 파괴 여부(15점) : 계란이 총 3회의 실험 중 한 번도 파괴되지 않으면 15점, 1회 파괴되면 12점, 2회 파괴되면 9점, 3회 파괴되면 6점, 그리고 시스템 파손으로 3회 실험을 완수하지 못한 경우에는 3점 부여
- 시스템 중량(10점) : $(5 - 4 \times (\text{시스템 중량} - \text{최소 시스템 중량}) / (\text{최대 시스템 중량} - \text{최소 시스템 중량})) \times 2$
- 낙하 정확도(10점) : $(5 - 4 \times (\text{낙하 중심 이격 거리} - \text{최단 낙하 중심 이격 거리}) / (\text{최장 낙하 중심 이격 거리} - \text{최단 낙하 중심 이격 거리})) \times 2$
- 낙하 속도(10점) : $(5 - 4 \times (\text{낙하 시간} - \text{최단 낙하 시간}) / (\text{최장 낙하 시간} - \text{최단 낙하 시간})) \times 2$

[나무교량 시스템 성능 평가 항목]

- 예비실험(10점) : $(1 + 4 \times (\text{빨대교량 지지하중/자중} - \text{최소 빨대교량 지지하중/자중}) / (\text{최대 빨대교량 지지하중/자중} - \text{최소 빨대교량 지지하중/자중})) \times 2$
- 창의성(25점) : 기존에 전혀 볼 수 없었던 기발하며 수려한 형태의 디자인은 25점, 기존 시스템과 차별성을 갖는 디자인은 20점, 기존에 나왔던 아이디어를 발전적으로 조합한 디자인은 15점, 기존에 나왔던 아이디어를 단순 조합한 디자인은 10점, 기존 시스템을 그대로 답습한 디자인은 5점 부여
- 지지하중/자중(30점) : $(1 + 4 \times (\text{나무교량 지지하중/자중} - \text{최소 나무교량 지지하중/자중}) / (\text{최대 나무교량 지지하중/자중} - \text{최소 나무교량 지지하중/자중})) \times 6$

두 번째, 총 100점 중 35점의 비중을 차지하는 프로젝트 보고서와 관련된 점수는 과제계획서(10점), 설계보고서(5점), 개발보고서(10점), 결과보고서(10점)이다. 설계보고서의 배점이 상대적으로 낮은 이유는, 설계 완료 후 시스템 제작 시 설계 변경이 빈번하게 발생함으로 인해, 설계보고서의 설계안이 최종 개가 아닌 중간개의 역할만을 한정적으로 수행하기 때문이다. 즉, 설계보고서에서는 초기 설계안만 평가되고 개선된 설계안은 개발보고서에서 평가되기 때문에, 이러한 부분을 고려하여 설계보고서의 배점을 다른 보고서보다 낮게 설정하였다. 보고서 점수는 배치, 색채, 글자체, 멀티미디어 자료 등이 완벽한 조화를 이루며, 요구 목적을 준수하여 최고 품질의 서술이 이루어지고, 내용을 완벽하게 이해시킬 수 있도록 발표한 경우 최고 점수 10점(설계보고서는 5점)을 부여하며, 배치, 색채, 글

자체 등이 전혀 조화를 이루지 못하며, 요구 목차를 준수하지 못하고, 내용도 잘 이해가 되지 않는 발표를 한 경우 최하 점수 2점(설계보고서는 1점)을 부여한다. 중간 수준의 서술이 이루어진 보고서들에 대해서는, 그 정도에 따라 최고점부터 최저점 사이의 점수를 부여한다. 세 번째, 개인의 기여도 점수는 각 팀의 조장과 보고서 발표자들에게 가산점 형태로 10점씩을 추가 부여한다. 이러한 가산점 형태의 점수 부여는 학생들이 서로 맡기를 꺼리는 조장과 발표자 역할의 수행을 장려하고 그 노력을 보상하기 위함이다.

2. 학습성과

본 연구에서는 수업을 통해 얻은 학습성과를 분석하기 위해, 총 89명의 수강생을 대상으로 설문조사를 수행한 후 그 결과를 분석하였다. 설문조사는 총 8문항으로, 학생들의 수업 수강 전후의 엔지니어링 능력을 비교·평가하기 위한 7개의 문항과 토목공학에 대한 흥미 및 관심도의 변화를 분석하기 위한 1개 문항으로 구성되었다. 엔지니어링 능력의 향상도를 평가하기 위한 7개 문항은, 각각 학생의 창의적 사고, 문제해결, 시스템 설계, 설계 소프트웨어 활용, 기술문서 작성, 기술문서 발표, 팀을 구성하여 함께 과업을 수행할 수 있는 능력을 평가하는 항목이다. 설문조사는 본인의 수강 전후의 엔지니어링 능력을 매우 낮음, 낮음, 보통, 높음, 매우 높음 등 5단계로 평가하여 각각 1점부터 5점 사이의 점수를 부여하는 방식으로 진행되었다.

Table 3 Survey results for program outcomes

Survey items	Before class	After class	Improvement
Creative thinking	2.96	4.11	1.16
Problem solving	3.08	4.33	1.25
System design	2.56	4.15	1.58
Design software application	1.98	3.78	1.80
Writing engineering documents	2.78	3.98	1.20
Engineering documents presentation	2.74	3.92	1.18
Team building and performing the project together	3.02	4.26	1.24
Level of interest and attention in civil engineering	3.09	4.15	1.06
Average	2.78	4.08	1.31

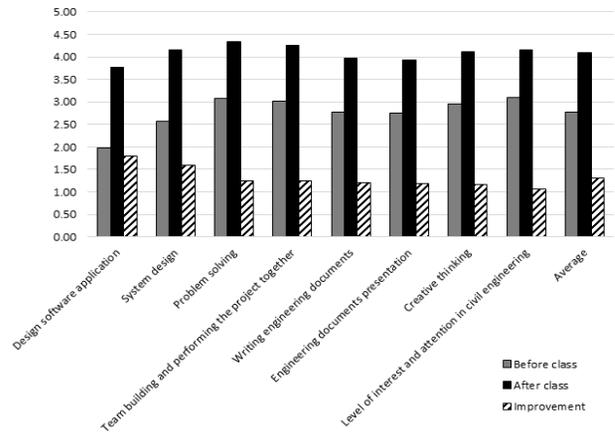


Fig. 9 Sorted improvements in program outcomes

Table 4 Paired-t test results for improvements in program outcomes

Survey items	Average	Standard deviation	t	p-value
Creative thinking	1.16	0.092	12.63	0.000*
Problem solving	1.25	0.077	16.18	0.000*
System design	1.58	0.103	15.33	0.000*
Design software application	1.80	0.121	14.88	0.000*
Writing engineering documents	1.20	0.091	13.26	0.000*
Engineering documents presentation	1.18	0.099	11.89	0.000*
Team building and performing the project together	1.24	0.112	11.05	0.000*
Level of interest and attention in civil engineering	1.06	0.082	12.87	0.000*

*Two means are different under significant level of 0.01

Table 3과 Fig. 9에 나타나 있는 설문조사 결과를 살펴보면, 7개의 엔지니어링 능력 중에서 설계 소프트웨어 활용과 시스템 설계에 대한 수강 전후의 능력 평가치 차이가 1.80과 1.58로 가장 크게 평가되었다. 이는 수강 전 가장 낮은 능력 평가치를 보였던 설계 부문의 능력이 본 수업의 수강을 통해 크게 향상되고 있음을 의미한다. 반면, 토목공학에 대한 흥미 및 관심도는 수강 전후 평가치의 차이가 1.06으로 그 상승 폭이 제한적이었다. 이는 수강 전부터 흥미 및 관심도가 3.09로 이미 충분히 높은 상태였기 때문에 그 상승 폭이 크지 않으며, 다른 한편으로 프로젝트 주제 및 수행과정이 토목공학의 특성을 충분히 반영하지 못함으로써 수강생들의 흥미와 관심도를 높이지 못한 것으로 해석할 수 있다. 따라서, 향후 학생들의 흥미 및 관심도를 더욱더 높이기 위한 보다 다양한 요소들을 수업내용

에 추가하는 것이 필요할 것이다.

수강 전후 엔지니어링 능력과 토목공학에 대한 흥미 및 관심도의 향상이 통계적으로 의미를 갖는지 평가하기 위해, 8개 항목에 대해 수강 전후 평가치에 대한 대응표본 평균 비교 분석(차이 분석)을 수행하였다. 분석 결과, Table 4에 나타나 있는 바와 같이, 8개 설문 항목에 대한 유의확률이 모두 0에 근접한 값을 갖는다. 이러한 결과는 수강생들의 엔지니어링 능력과 토목공학에 대한 흥미 및 관심도 모두에 대해 본 수업의 수업을 통해 유의미한 향상이 있었음을 나타내는 것이다. 즉, 본 수업이 토목공학 분야의 입문설계 교과목으로서, 창의적 사고 및 설계 능력, 문서 작성 및 발표 능력, 팀워크를 향상시키고 및 토목공학에 대한 흥미 및 관심도를 높이고자 한 학습성과를 충실하게 달성하고 있음을 보여주는 것이다.

V. 결 론

본 연구에서는 토목공학 분야에 대해 아이디어 기반 개념설계, 유체/구조 역학 기반 시뮬레이션, 3D 모델링 기반 설계, 그리고 발사목 기반 제작, 그리고 낙하/재하 실험을 통한 성능 평가 과정에 고루 중점을 둔 입문설계 교과목을 개발하고, 운영한 후, 그 학습성과를 분석하였다. 수업 종료 후 실시된 학습성과에 대한 설문조사 결과, 본 수업을 통해 학생들의 시스템 설계 능력이 크게 향상되었으며, 토목공학에 대한 흥미 및 관심도가 높아졌다는 것을 알 수 있었다. 토목공학 관련 학부 과정이 설치되어 있는 많은 대학들이 본 논문에서 제시하고 있는 입문설계 교육과정을 참조하여 수업을 운영한다면 충북대학교 토목공학부에서 얻은 것과 유사한 형태의 학습성과 향상 효과를 얻을 수 있을 것으로 기대한다. 본 입문설계 교과목 수업내용에 대한 보다 상세한 이해가 필요한 독자는 창의공학설계입문 교과목 강의노트를 참조하기 바란다(Jeong, 2020).

향후, 충북대학교 토목공학부는 토목공학에 대한 흥미 및 관심도를 더욱더 높일 수 있는 새로운 주제의 선정과 해당 주제에 적합한 프로젝트 수행 과정을 끊임없이 개발해나갈 예정이다. 특히, 프로젝트 과정에서 발생하는 빈번한 설계 변경 상황에 대응하기 위해 가치공학(VE; Value Engineering) 기법에 근거한 설계경제성 검토 과정을 접목시킨 보다 진화된 형태의 프로젝트 수행과정을 개발할 계획이다. 또한, 4차 산업혁명 시대의 기술적 변화에 대응하고자, 3D 모델링 도구를 이용하여 작성된 개념도를 3D 프린터를 이용하여 출력함으로써 프로토타입 시스템 개발 도구로서의 3D 프린팅의 기능을 체험할 수 있는 수업내용을 개발하여 교육과정에 추가시킬 계획이다. 이와 같은 지속적 노력을 통해 학생들의 시스템 설계 능력 및 토목공학에 대한 흥미 및

관심도를 더욱더 향상시켜 나갈 수 있을 것이다.

참고문헌

1. 고석준(2007). 공학 설계입문 교과목 개선을 위한 국내외 대학 비교 연구. 석사학위논문. 국민대학교 교육대학원.
2. 권성규(2019). 개념설계에 치중하는 기초설계 과목 개발. 공학교육연구, 22(2), 16-27.
3. 김건하·오주원·이학수(2006). 턴키 제도를 모사한 환경공학 설계과목의 협동학습 적용사례. 공학교육연구, 9(4), 5-9.
4. 김이병·이범식(2005). 창의적 사고능력 증진을 위한 공학설계 입문 교과목 및 사례 개발. 공학교육연구, 8(3), 26-35.
5. 도남철(2018). PDM 소프트웨어와 3D 프린팅을 활용한 제품 개발 수업 운영 사례. 공학교육연구, 21(6), 90-98.
6. 박강 외(2012). 공학 문제 해결의 길라잡이 창의 공학 2판 인 피니트북스.
7. 박지호·전영우·김영욱(2012). 토목환경공학과 특성을 고려한 공학입문설계 학습지도 사례연구. 공학교육연구, 15(2), 52-57.
8. 윤린(2016). 공학교육 입문설계의 운영사례 연구(한밭대학교 중심으로). 공학교육연구, 19(4), 83-88.
9. 이재민(2015). 창의설계교육을 위한 교과과정 및 종합설계실 구축 방안(전자공학전공을 중심으로). 디지털콘텐츠학회논문지, 16(1), 53-61.
10. 장용철·김진국·김민철(2013). 창의설계입문의 PBL(Problem-Based Learning) 적용: 충남대학교 환경공학분야 사례. 공학교육연구, 16(2), 78-85.
11. 최덕기·박찬일·최정임(2006). 창의적 사고 능력 배양을 위한 입문공학설계 교과목 개발. 공학교육연구, 9(1), 61-74.
12. Anvick(2001). Egg Drop Simulator. <http://sanvick.org/sanvick/school/hyderabadrover/EggDropSim.xls>
13. Jeong, Keun-Chae(2020). Lecture Note for Introduction to Creative Engineering Design. <http://kcjeong.cbnu.ac.kr/working/ce/CE.LectureNote.pdf>
14. Ressler, Colonel Stephen(2007). West Point Bridge Designer. <https://www.bridgecontest.org/resources/previous-version-s-of-the-software>



정근채 (Jeong, Keun-cha)

1991년: 고려대학교 산업공학과 졸업
 1993년: KAIST 산업공학과 석사
 1997년: KAIST 산업공학과 박사
 1997년~2000년: LGEDS(주) 선임컨설턴트
 2000년~2001년: 제주대학교 경영정보학과 교수
 2001년~현재: 충북대학교 토목공학부 교수
 관심분야: 공학 설계 교육
 E-mail: kcjeong@cbnu.ac.kr